## COOLING FACILITIES AND CONTROL IN GREENHOUSES

Chung-Hsing Wu

Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering,
National Taiwan University.

### ABSTRACT

Taiwan located in the semitropical area. In the summer, the thermal load inside the greenhouses is so heavy that the cooling facilities are required to maintain the right temperature in which the plant will grow well.

In the shiny days, the screens should be spread over the roof of the greenhouse automatically to interrupt about half of the solar radiation entering into the growing area. Some of the auxiliary cooling equipments such as natural ventilation system, mechanical ventilation system, fan and pad system, misting system, or fog system also should be built in according to the consideration of the budget and the requirement of the grown plants to accurately control the temperature, relative humidity, and the concentration of the carbon dioxide inside the protected area. The size of the air inlet, the selection of the fan, and the maintenance of the mechanical assemblies are also important to ensure a reliable optimum growing environment.



# 設施內輻射環境的控制與管理

申 雍*
國立中興大學土壤學系

## 摘 要

入射於地表的日光，可分為三個波段，紫外光區（＜400 nm）、可見光區（400—700 nm）和近紅外光區（700—3000 nm）；各波段所佔的能量分別為3%、44%和53%。其中僅有可見光區的能量可以被作物光合作用所利用，其餘兩個波段的光能對光合作用毫無用處，但卻可以轉變成熱能，使得設施內的溫度升高。因此，如何儘量減少進入設施內近紅外光的量，但依作物需求，調節可見光進入的量，就成為控制與管理設施內輻射環境的首要目標。設施內的熱能，會不斷的以長波（＞3000 nm）的型式向外輻散，所以如何使長波輻射順利釋出，乃成為控制與管理的第二目標。

為達成前述二目標，必須從研究設施所用被覆材料的光學性質著手。本省目前所用的材質，如玻璃、PE 布、PVC 布，FRP 板等的光學性質均不合理想。初步研究顯示，利用具雙鍵或參鍵的 C、H、O、N 等簡單分子的有機或無機的氣體與液體，以吸收或反射的方式，可以選擇性地減少進入設施內近紅外光區的能量。有關材料的開發與實際應用的技術，仍有待更進一步的探討。

## 一、 前 言

夏季日射強烈時，設施內的氣溫常高至為害作物生長的程度[3,4]，這是設施栽培在本省尚未能被普遍採用的主要原因之一。設施內的高溫，導因於過量的日射進入設施內，轉變成熱能，又無法有效的將熱能排出設施外。目前所用通風和冷卻的方法[2]，在把已進入設施內的熱量除去，設備的投資很大。若是能將過多的日射阻擋於設施外，則設施內的溫度將不致於上升的太高，即使仍須要降溫，所須的設備投資也將減少，這對於種植非高經濟價值作物的農民，將有很大的幫助。目前習用遮光網將過多的日射阻擋於設施外，但無良好效果的原因在於，若阻止過度溫度上升，往往伴隨阻止可見光的穿透，影響了作物的生長。故在控制與管理設施內的輻射熱環境時，並非單純的使用遮光網而已。

設施內的輻射環境可分強度、分佈與光品質（透光光譜）三大部分。設施內的日射強度較外界環境為低，其原因包括有㈠樑柱的遮光、㈡被覆材料的反射與吸收、㈢被覆材料上灰塵、水滴的吸收和反射，而且入射強度隨太陽高度、溫室方位和構造而變化[2]。由於台灣處於低緯度地區，設施內床面的平均透光率隨溫室方位、屋頂傾斜角的變化不大[1]，而設施內的光品質，決定於

* 國立中興大學土壤學系副教授

所用被覆材料的光學性質，所以要控制與管理設施內的輻射環境，須從選擇適當的被覆建材 著手。

## 二、 理想的被覆建材

入射於地表的日射，可大約分為三個波段，紫外光區（＜400nm）、可見光區（400-700nm）以及近紅外光區（700-300nm）（圖 1 ）。可以被作物光合作用利用的可見光區的能量，只佔全部日射能量的44%，佔50%以上能量的近紅外光，並不能被作物光合作用所利用，但卻會轉成熱能，使得設施內的溫度升高，因此一個理想的被覆建材須能把近紅外光擋在設施外。

設施內部的熱量會以長波輻射（3-100 $\mu$m）的方式向外界釋出（圖一）。一個理想的被覆材料須能讓此波段的輻射順利釋出，否則將產生「溫室效應」，使設施內的溫度升高，如玻璃溫室。

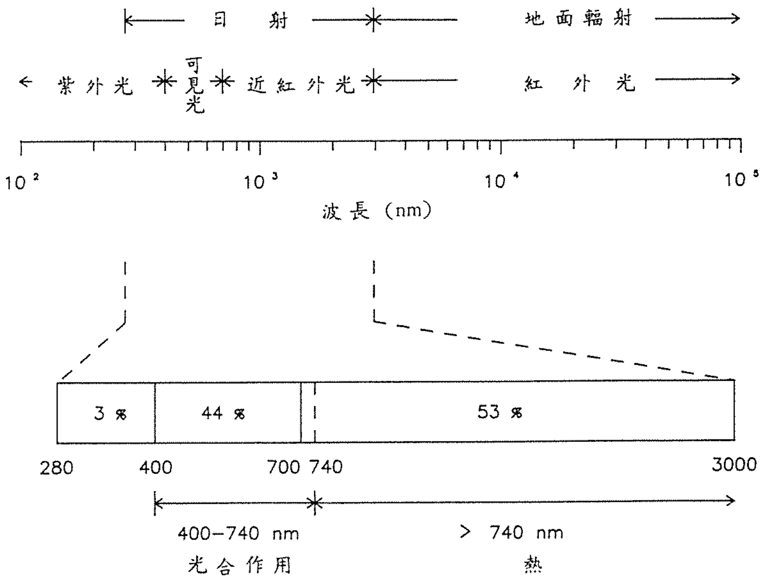


圖 1 (a)日射與地面幅射（長波輻射）的光譜波帶
(b)日射中不同光譜波帶的能量分佈

Fig. 1 (a) Spectrum of solar and terrestrial radiation on logarithmic wavelength scale.
(b) Energy distribution in solar radiation.

由以上所述，一個理想的被覆材料須有如圖 2 所示的光學性質，即讓可見光通過，擋住近紅外光，且讓長波輻射（紅外光）順利釋出。



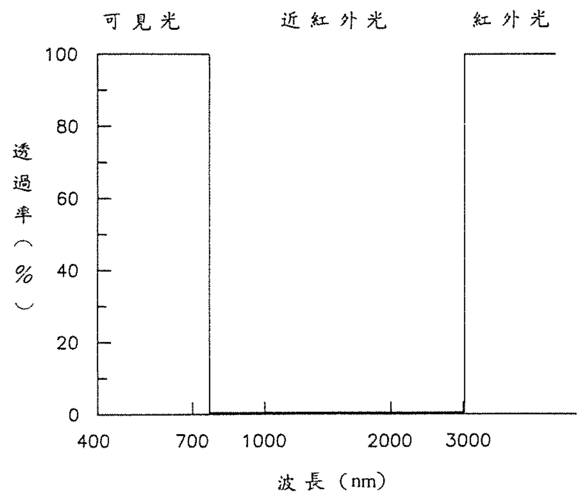


圖 2 溫室被覆材料理想的光學性質

Fig. 2 Optical properties of an ideal covering material.

## 三、 現有被覆材料與改進建議

目前常用被覆建材的光學性質均不甚理想，例如玻璃（圖3.）雖然對可見光的透過性頁好，且能耐久，但是玻璃對近紅外光同樣毫無阻擋，又不讓設施內的熱以長波輻射的方式順利釋出，造成嚴重的溫室效應。又如PE布（圖4 ），雖然它對於長波輻射的透過率要比玻璃好的多，但是對佔有50%能量的近紅外光也沒有阻擋作用。

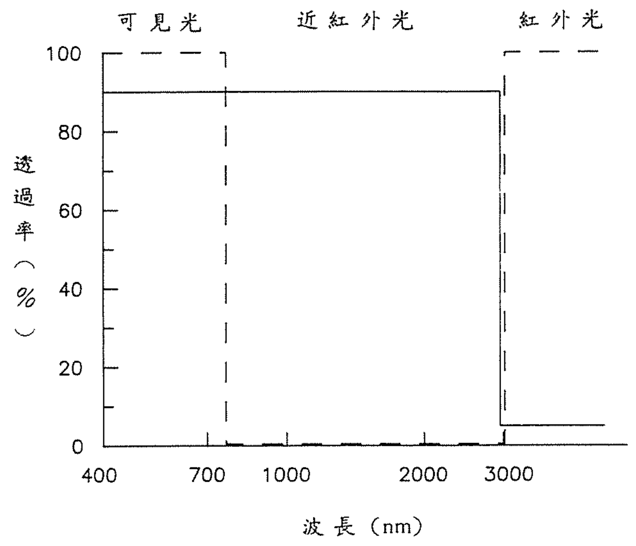


圖 3 玻璃與理想被覆材料透過率之比較

Fig. 3 Transmissivity of glasses compared with an ideal covering material.

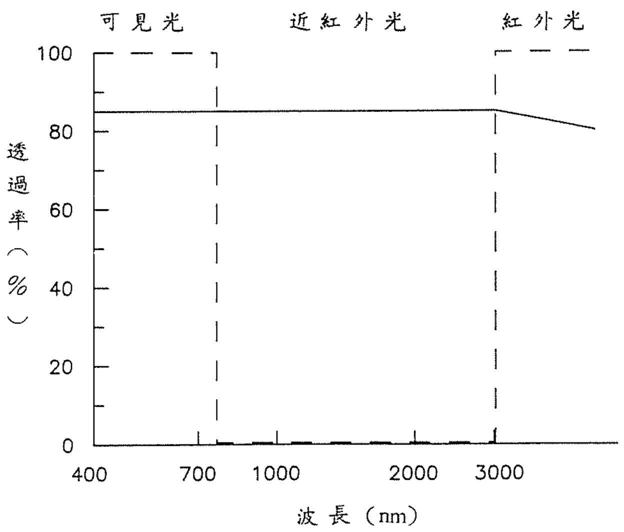


圖4 PE布與理想被覆材料透過率之比較

Fig. 4 Transmissivity of PE film compared with an ideal covering material.

欲將日射中的近紅外光擋在設施外，可以利用吸收的方法，在被覆材料上塗布一層吸收近紅外光的物質，例如目前所用在屋頂灑水的方法就有這方面的效果（圖5），水對可見光的透過良好，保留須要一薄層的水（～1㎝），就可以把近紅外光完全吸收，可是水不能讓紅外光順利釋出是一大缺點，同時水中所含的鐵質及碳酸鹽等容易污染屋頂，降低了可見光的透過率。

另一種吸收近紅外光的方法，可利用PE布對三個波段的透過率都良好的特性，在二層PE布間填充可以吸收近紅外光的氣體或液體，如同 Mortensen[5]在二層壓克力板之間，填充不同顏色的水，以調節所通過的可見光質。所使用的氣體或液體必須有對可見光及紅外光通過性良好的光學性質，同時還須對生物無毒害，不會造成環境污染等的特性，以防止PE布破裂時造成災害。

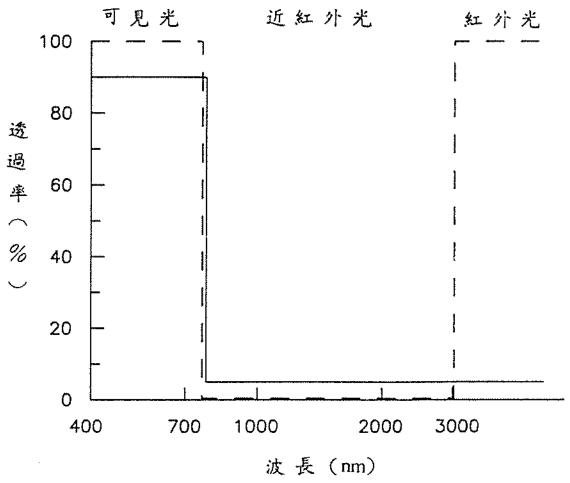


圖5 水與理想被覆材料透過率之比較

Fig. 5 Transmissivity of water compared with an ideal covering material.



可資利用的填充料，可從一些簡單的有機或無機的，具雙鍵或參鍵的 C、H、O、N 的分子來尋找，因為使其分子振動所須的能量約落在近紅外光區；一個很值得研究的材料就是 $CO_2$。一些可以吸收近紅外光能量的有機官能基則列於表1。

表1 有機官能基吸收近紅外光的波段（取自 Shurvell et al[6]）

Table 1 Near infrared absorption band of several organic functional groups (after shurvell et al.[6])

| 官能基 | | 波長 (microns) | 官能基 | | 波長 (microns) |
|---|---|---|---|---|---|
| Acetylenes | $-C\equiv CH$ | 1.02–1.05 | Amines | $-NH_2$, | 1.00–1.08 |
| | | | | $-NHR$ | 1.43–1.57 |
| Alcohols | $-OH$ | 0.93–0.96 | | | 1.94–2.03 |
| (nonhydrogen bonded) | | 1.40–1.42 | Aromatic Aldehyde | ArCHO | 2.19–2.25 |
| Aldehydes | $R-C(=O)-H$ | 2.19–2.22 | Carbonyl | $C=O$ | 1.92–1.96 |
| Alkanes Groups | $-CH_2-$, $-CH_3$ | 0.86–0.95 | Carboxylic Acids | $R-C(=O)-HO$ | 1.43–1.47 |
| | | 1.12–1.20 | | | |
| | | 1.71–1.78 | | | |
| | | 2.23–2.44 | Glycols | $-C(OH)-C(OH)-$ | 1.40–1.42 |
| Alkenes | $=CH_2$ | 0.84–0.90 | Imides | $-C(=O)-NH-C(=O)-$ | 1.01–1.04 |
| | | 1.08–1.15 | | | 1.53–1.57 |
| | | 1.32–1.35 | | | |
| Amides Primary | $R-C(=O)-NH_2$ | 1.00–1.07 | Nitriles | $-C\equiv N$ | 1.89–1.92 |
| | | 1.44–1.53 | Oximes | $-C=NOH$ | 1.41–1.43 |
| | | 1.91–2.08 | Phosphines | $-PH$ | 1.87–1.90 |
| Secondary | $R-C(=O)-NHR'$ | 1.46–1.48 | Thiols | $-SH$ | 1.97–1.99 |
| | | 1.98–2.04 | | | |

前述利用材料將近紅外線吸收的方法，若沒有很好的散熱方法，材料將會變得很熱，如果所使用的材料能將近紅外光反射掉就更好了。自然界的植物葉片，對於近紅外光有很強的選擇性反射（圖6），土壤對近紅外光亦有很強的選擇性反射，我們須研究其原因，設法將研究結果應用到改進現有被覆材料的技術上。

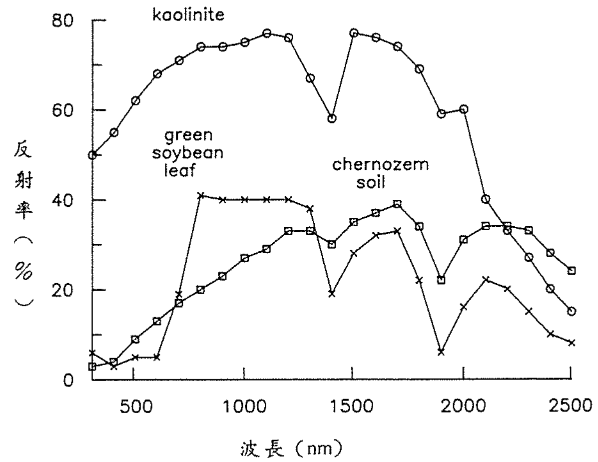


圖 6 大豆綠葉，黑鈣土及高嶺石的反射光譜 ( 取自 Blad and Lemeur ⁾

Fig. 6 Spectral reflectance curves of a green soybean leaf, a chernozem-type soil and a pure kaolinite substratum (after Blad and Lemeur[5]).

## 四、 可見光的控制與管理

設施內輻射環境的控制與管理，除了須設法減少近紅外光的進入外，還須注意進入的可見光量是否過多。作物依適光強度，可約略分為三型[2]，強光型、中光型和弱光型，所須的最低日射量分別為350，70-350，及70 W／㎡。而台灣地區，以台中為例 ( 圖 7 ) ，一天中，日射量超過350 W／㎡的時間，在夏季有 8 個小時，而在冬季也有 6 個小時，尤其在夏季正午時可高達600 W／㎡以上，似有日射量過多之嫌，可酌量予以減少。

減少可見光的方式，依栽培作物種類而異。若所栽培的作物屬弱光型，可利用遮光網減少進入的日射，若作物屬於強光型或中光型，則最好將設施依南北向建築，減少正午時入射的日射量，但不減少早晨或下午的日射量。

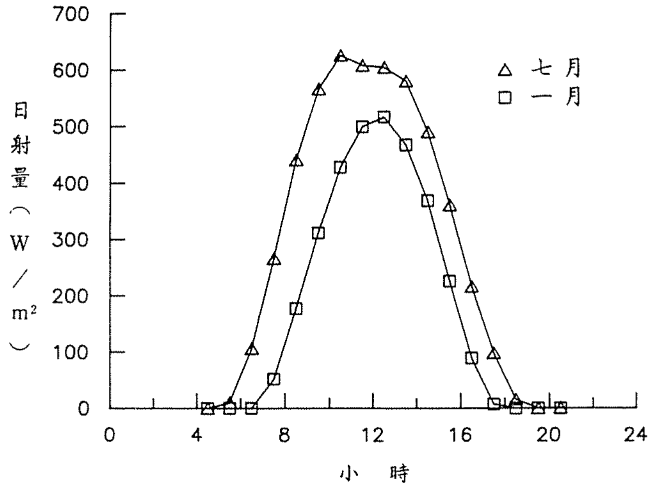


圖 7 台中地區一月與七月五年的 ( 1983-1987 ) 平均全天日射量

Fig. 7 Averaged January and July solar irradiance in Taichung area from 1983 to 1987.



## 五、 結 語

綜結本文所述，設施內輻射環境控制與管理的目標，在於：

(一)儘可能減少近紅外光的進入，而依栽培作物的適光性，適量調節進入設施內的可見光量。

(二)使長波輻射順利釋出。

上述的目標雖然顯而易見，但是有關技術的細節與適用的材料，仍有待進一步的研究與開發，本文中所提的幾點建議，當可做為起始研究的方向。

## 參 考 文 獻

1. 王鼎盛 1987 溫室結構設計與環境控制 設施園藝研討會專集 第125-142頁。 民國76年 2 月18至19日 台灣省農業試驗所主辦。
2. 王鼎盛 1988 設施園藝設計手冊 台灣大學農業工程系。
3. 李 哖 1987 溫室之栽培管理技術 設施園藝研討會專集 第143-152頁。 民國76年 2 月18至19日 台灣省農業試驗所主辦。
4. 郭孚燿 1987 台灣蔬菜設施栽培之探討與展望 設施園藝研討會專集 第43-60頁。 民國76年 2 月18至19日 台灣省農業試驗所主辦。
5. Blad, B. L. and R. Lemeur. 1979. Miscellaneous techniques for alleviating heat and moisture stress. In “Modification of the aerial environment of crops”. American Socity of Agricultural Engineers.
6. Shurvell, H. F., L. Verbit, R. G. Cooks, and G. H. Stout. 1976. Organic Structure Analysis. Published by MacMillan Publishing Co., Inc. New York, NY.
7. Mortensen, L. M. 1988. Fluid roof greenhouse with control of light quality. A poster in symposium on high technology in protected cultivation. Held at Hamanatsu, Japan, May 12–15, 1988 by International Society for Horticultural Science.

# CONTROL AND MANAGEMENT OF RADIATION ENVIRONMENT IN GREENHOUSES

**Yuan Shen**

Associate Professor

Department of Soil Science, National Chung-Hsing University

## ABSTRACT

Incident solar radiation on earth can be divided into three regions, ultra-violet (300–400 nm), visible (400–700 nm) and near-infrared (700–3000 nm); and the energy contained are 3%, 44%, and 53%, respectively. Although energy in the visible region can be used by photosynthesis, radiant energy in the other two regions can only be converted into heat and then raise temperature in greenhouses. Therefore, to reduce as much near-infrared as possible and adjust the amount of visible light based on crop needs is the first goal in controlling and managing the radiation environment in greenhouses. The heat in the greenhouse will radiate outwardly in the form of longwave radiation (3–100 $\mu$m). Thus, the second goal is to let longwave radiation to be released as much as possible.

Optical properties of commonly used covering materials, glass, PE and PVC films, are compared with an ideal covering material and found to be unsatisfied. Discussions about how to reduce incident near-infrared have been given and materials that selectively absorb or reflect near-infrared, such as $CO_2$, have also been pointed out. However, researches on developing practical techniques and suitable materials are still needed.



# 溫室自動化系統功能之探討

張 祖 亮*

國立台灣大學園藝系

## 摘 要

近年來，設施園藝在本省日漸受到重視，然其成功與否的關鍵之一，在於能否成功地控制設施內的環境。為控制環境而使用之設施，可分為利用各種自然資源及能源，並減少人工能源消耗的被動型，與消耗大量人工能源及人力支出的主動型兩大類。由於主動型的控制較佳，若能符合經濟效益的原則，當為人們所樂於採用。為了要減低能源及人力支出，自動化或電腦化的控制便成為必然的趨勢。雖然，以本省目前的工業技術水準而言，應足以擔負此任務；但農業生產所涉及的因素極多，雖然要求的反應速度及精密度不若工業控制般的嚴格，然而要慮及的範圍則大得多，因此系統便複雜起來。在此首先由功能性的著眼，加以探討。

在資訊工業及相關工業蓬勃發展的時代潮流中，未來的農業生產結構將出現不同的生產模式。因為市場的需求、銷售行情、價格、銷量等資訊，可迅速地傳至生產單位。透過生產者的組織，與產量預測和天氣預報相結合，使產銷計畫配合各因應措施，務期將風險降至最小。以上的產銷模式，將待全面性資訊網路的建立後，始克完成。當前的溫室自動化，將著重於環境控制及作物生長模式的建立，及整合目前各具單獨功能的控制器，予以系統化控制。利用作物生長模式來進行環境控制，可經由資料庫及具推理功能的知識庫之規則，推定擬採行的步驟，從而達成高產或高品質的預定目標。環境控制機構則要講求可靠、穩定、省能源、維修易而且便宜。操作上除要求最少的人工外，實際運作時操作人員要安全、舒適而有效率。

本文以臺灣大學園藝學系所引進的荷蘭連幢式精密溫室為例，說明在實施溫室自動化時，於設計之初即應注意的事項，以便迎頭趕上先進國家的水準。

## 一、前 言

當國民生活水準日漸提高，對園產品品質要求亦隨之高漲，為了適應市場的需求，採用設施以改善作物生產環境，求取產量的增加、品質的提高及調節產期的栽培方式便逐漸興起，匯集成一般所謂設施園藝的新興產業。就園藝栽培的觀點而言，所謂設施園藝乃是「以人為方式，利用

* 國立台灣大學園藝學系副教授